

# **LES PEAGES URBAINS : COMMENT PEUVENT-ILS SATISFAIRE UNE POLITIQUE D'AGGLOMERATION ?**

Charles RAUX  
Odile ANDAN

Laboratoire d'Economie des Transports  
(CNRS, Université Lumière-Lyon 2, ENTPE)  
ISH, 14 av. Berthelot, 69363 LYON CEDEX 07  
tél 04 72 72 64 03, fax 04 72 72 64 48  
email : charles.raux@let.ish-lyon.cnrs.fr

*Version corrigée du 11 mars 2002*

Mots-clés : tarification routière urbaine, scénarios de péage, véhicules-kilomètres, durée de déplacements, émissions polluantes, recettes.

Keywords : urban road pricing, pricing schemes, vehicle-kilometres, travel duration, pollutants, revenues.

## **Résumé**

Dans cet article nous évaluons dans quelle mesure des scénarios de péages urbains élaborés peuvent satisfaire aux objectifs de politiques d'agglomérations, recherchés dans le cadre de trois contraintes, de financement, d'environnement et d'équité, le plus souvent difficilement compatibles. Nous élaborons un système technique de péage permettant de concilier ces objectifs et l'appliquons au cas de l'agglomération lyonnaise. Des conclusions en sont tirées quant à la pertinence de différents scénarios de péages, en termes de véhicules-kilomètres parcourus, de durées de déplacements, d'émissions atmosphériques et de financement. D'une manière générale l'amélioration simultanée de ces précédents critères nécessite au minimum la mise en place d'un péage de zone réduisant l'usage de la voiture particulière par les automobilistes résidents dans l'agglomération, et permettant de financer des offres de transport alternatives.

## **INTRODUCTION**

La rareté de l'argent public, les préoccupations concernant la préservation de l'environnement local et global (effet de serre), et la rareté de l'espace dans les zones urbaines denses, sont autant de raisons pour s'opposer à une expansion sans frein des routes. Il existe un consensus pour rechercher une meilleure utilisation de la capacité de l'infrastructure existante, voire limiter les besoins de se déplacer en voiture particulière (OCDE/CEMT, 1995 ; EC, 1995). Pour mieux gérer la consommation de ces ressources rares, la théorie économique standard préconise d'en expliciter le prix. C'est pourquoi la Commission Européenne plaide pour renforcer l'usage de la tarification dans les transports et notamment des péages routiers (EC, 1998, 2001).

Cependant, il n'est pas suffisant de déclarer que le péage routier est l'instrument idéalement efficace pour réguler les atteintes à l'environnement ou la congestion aux endroits et aux moments où cette dernière se manifeste. Quand on s'attelle à la mise en œuvre concrète d'une tarification routière urbaine, on doit tenir compte de l'objectif général d'accessibilité et des contraintes auxquelles est soumise la politique de transport que mettent en œuvre les autorités urbaines : outre les contraintes précitées de financement et de limitation des atteintes à l'environnement et au cadre de vie, cette politique de transport est soumise, comme toute politique urbaine, à des impératifs d'équité sociale et spatiale à l'échelle de l'agglomération.

Le but de cet article est d'évaluer dans quelle mesure des scénarios de péages élaborés pourraient satisfaire aux objectifs de politiques d'agglomérations précitées. La première section résumera les préconisations théoriques, les applications et les controverses concernant les péages urbains. La deuxième section rappellera brièvement les objectifs de maintien de l'accessibilité poursuivis par les autorités locales, les contraintes qui s'imposent à l'action publique, et les systèmes techniques de péage permettant de différencier les catégories d'usagers. La troisième section décrira l'élaboration et le fonctionnement d'un système de péage appliqué à une configuration spatiale particulière mais représentative, combinant des accès par corridors dans un réseau urbain de rings multiples. Dans la quatrième section, l'application d'un modèle empirique sur un cas concret, celui de l'agglomération lyonnaise, permettra d'apporter des éléments quantitatifs partiels, en termes de variations des circulations, des émissions polluantes et de recettes des péages. On en tirera des conclusions provisoires quant à la pertinence des scénarios testés face aux politiques d'agglomération.

Précisons également que, dans cet article, nous nous limitons à l'analyse de la performance du transport routier privé sous l'effet de ces scénarios de péage. Par performance nous entendons le degré de congestion, l'ampleur des atteintes à l'environnement et au cadre de vie, ainsi que le niveau des recettes financières. Les questions d'équité entre groupes sociaux dépassent le champ de cet article : elles ne sont donc pas explicitement traitées ici, bien qu'il s'agisse d'aspects fondamentaux pour l'acceptabilité de tels scénarios, comme nous l'évoquons dans la section suivante.

## **1. LES PEAGES URBAINS : APPLICATIONS ET CONTROVERSES**

La tarification routière, comme instrument économique susceptible de contribuer à une politique optimale de gestion des déplacements, fait l'objet de débats depuis plus d'un siècle et demi : ce débat remonte d'une part aux travaux de Dupuit (1844, 1849) et d'autre part, dans le monde anglo-saxon, autour du coût social de la congestion et de son imputation, avec les travaux de Pigou (1920), Knight (1924), Vickrey (1963) et Walters (1961). Sous certaines hypothèses, la règle de tarification optimale - celle qui évite les gaspillages de ressources et maximise le surplus pour la collectivité - reviendrait à appliquer aux usagers de la route une redevance incluant les externalités de congestion, d'environnement et d'accident (cf. pour la démonstration Small, 1992a). Cependant, le théorème du « second-best » (Lipsey et Lancaster, 1956) affaiblit singulièrement cette prescription théorique puisque les hypothèses présidant à son élaboration ne sont généralement pas vérifiées. Plusieurs travaux montrent au cas par cas - sous-tarification d'un mode concurrent ou contrainte d'équilibre budgétaire sur un mode -, comment la tarification doit dévier du principe du coût marginal (cf. Quinet, 1998). Pour autant, cela ne remet pas en cause le principe de tarification en soi. Il existe en effet un consensus solide entre économistes pour juger qu'il est plus efficace de tarifier quelque chose pour les externalités de congestion et environnementales, plutôt que de ne rien tarifier du tout ou de tarifier un prix déconnecté des coûts occasionnés à la marge.

Il existe différents instruments permettant de jouer plus ou moins directement sur le prix de l'usage de la route : péages routiers mais aussi taxes sur les carburants, stationnement payant, fiscalité sur la possession ou l'achat de l'automobile. Ces différents instruments ont leurs avantages et leurs inconvénients en termes d'efficacité et de coût de mise en œuvre : les taxes sur les carburants ont l'avantage de couvrir tous les usages des véhicules routiers avec un coût de perception modique mais ne peuvent à l'évidence être modulées selon les lieux<sup>1</sup> et les heures de circulation ; le stationnement payant est un instrument largement sous-utilisé (Rennes et Orfeuil, 1997) mais frappe l'immobilité des véhicules au risque de stimuler la mobilité de ces mêmes véhicules pour échapper à ce paiement ; la fiscalité sur la possession de l'automobile n'est que trop indirectement liée à son intensité d'usage. Au contraire, le péage routier a l'avantage, grâce aux technologies désormais disponibles de péage électronique, de cibler directement la consommation d'espace de voirie et de ressources environnementales en des lieux et à des moments pouvant être bien délimités, c'est-à-dire le plus souvent en milieu urbain.

Le péage routier peut prendre plusieurs formes, selon la base tarifaire (au kilomètre, au passage, au forfait, au temps), selon la configuration spatiale (axe routier, cordon d'accès, zone de circulation), selon l'heure du déplacement et selon l'affectation des recettes. Voilà pourquoi on parle de péages urbains.

En outre, dans la confrontation d'une offre (de capacité viaire à un moment donné) et d'une demande (de déplacements à ce même moment), l'explicitation d'un prix par le péage routier donne d'office à ce dernier un double rôle de source de financement et de modération de la demande.

Dans une logique de couverture des coûts d'une infrastructure non saturée, le tarif sera ajusté de manière à optimiser le flot des usagers pour maximiser les recettes. A l'exemple du système de financement « à la française » des autoroutes interurbaines à péage, ce dernier apparaît comme la contrepartie d'un service rendu en termes de vitesse et de confort – et librement acheté puisque le principe de l'alternative gratuite est maintenu –. La redistribution s'opère entre usagers présents et futurs de l'autoroute et, au pire, entre usagers des différentes sections d'autoroutes plus ou moins rentables<sup>2</sup>.

Dans une logique de modération de la congestion, le tarif devra être suffisamment élevé pour décourager les déplacements et ajuster leur quantité à la capacité disponible. Quand on tend vers la règle de tarification optimale en situation de saturation, le surplus *collectif* augmente mais une redistribution s'opère au sein de la collectivité. D'une manière générale le péage est régressif par rapport au revenu *toutes choses égales par ailleurs* : il favorise ceux qui ont une utilité marginale relative du temps plus élevée et une utilité marginale relative du revenu moins élevée, c'est-à-dire en gros les plus « riches » ou ceux dont les frais sont remboursés par l'employeur. Dans sa forme de régulation la plus ultime (péage de congestion appliqué à la totalité du réseau) le péage apparaît encore plus régressif non seulement parce que les tarifs seront plus élevés pour décourager la circulation, mais aussi parce que, par définition, l'alternative routière gratuite n'existe pas.

Ces aspects expliquent en grande partie les difficultés de l'introduction de péages routiers en milieu urbain, qui se heurte à de fortes oppositions sociales et politiques. Le cas qui se rapproche le plus du péage de congestion est celui de Singapour, péage de zone dans le centre des affaires, opérationnel depuis 1975 et étendu en 1998 au réseau d'autoroutes de l'île. Outre

---

<sup>1</sup> Sauf à provoquer le « tourisme du réservoir ».

<sup>2</sup> Jusqu'à récemment mais cette péréquation est désormais exclue pour les futures sections.

les ponts et tunnels à péage dans certaines agglomérations, les autres exemples majeurs de péages urbains sont les péages de cordon dans les trois principales villes de Norvège (Oslo en 1990, Trondheim en 1991, Bergen en 1986) mais il s'agit là de péages modiques destinés à financer une offre future de transport, principalement mais non exclusivement routière. Londres projette d'implanter pour 2003 un péage pour circuler dans son centre. En France on s'est contenté de transposer le schéma de financement interurbain, avec l'A14 dans la périphérie ouest de Paris, le tunnel Prado-Carénage dans le centre de Marseille, le boulevard périphérique nord de Lyon avec les vicissitudes que l'on sait, et le futur tronçon de l'A86 à péage dans l'ouest parisien.

Les nombreuses tentatives avortées et les expériences acquises montrent que les aspects redistributifs et d'équité sociale sont au cœur de l'acceptabilité de telles mesures (Raux et Souche, 2001a). Des propositions ont été faites dans la littérature, suggérant des mécanismes de compensation permettant de gagner l'accord des parties concernées (Goodwin, 1989 ; Small, 1992b). La question de l'utilisation des recettes issues de la tarification des transports est au centre de l'acceptabilité de nouvelles mesures tarifaires, comme l'ont montré les résultats de projets européens récents (PATS, PRIMA, AFFORD) mais les montages institutionnels et financiers précis restent à concevoir et font l'objet de travaux en cours.

## **2. UN OBJECTIF D'ACCESSIBILITE SOUS CONTRAINTES**

L'objectif global de maintien de l'accessibilité aux agglomérations peut être décliné selon plusieurs échelles géographiques, correspondant à différentes catégories d'usagers. Cependant, cette accessibilité ne peut être maintenue que dans le cadre de contraintes qui s'imposent à l'action publique. Enfin, les systèmes techniques de péage imposent leurs propres limites quant à la différenciation des catégories d'usagers.

### **2.1. Préserver l'accessibilité pour différentes catégories d'usagers**

Lors d'une précédente recherche (Eurotoll, 1996), nous avons pu identifier quatre échelles dans l'objectif global d'accessibilité poursuivis par les autorités locales :

- la cohésion européenne, qui implique de préserver le droit de passage pour le trafic de transit de marchandises, de tourisme et d'affaires à longue distance,
- la nécessité d'insérer les villes et leurs aires d'influence dans la trame européenne et nationale,
- la même nécessité d'insertion régionale pour les villes, qui impose des capacités d'échanges entre elles et leurs aires d'attraction,
- le fonctionnement urbain, qui impose que soit préservée l'accessibilité aux fonctions urbaines pour divers motifs depuis les multiples points de l'agglomération.

Pour chacune de ces échelles, des groupes d'usagers de la route peuvent être identifiés, selon les motifs de leur déplacement (navetteurs, tourisme, affaires, livraisons), la période où se produisent ces déplacements (semaine ou week-end, journée ou nuit) ainsi que leurs origines et destinations (trafic de transit, d'échanges ou local).

### **2.2. Trois contraintes de politiques urbaines**

Les trois contraintes évoquées en introduction s'imposent comme un cadre d'action pour les politiques urbaines. Il s'agit des contraintes de rareté des ressources financières, de respect de l'environnement et de cohésion sociale et spatiale au sein de l'agglomération. Ces contraintes imposent de prendre un certain nombre de dispositions :

- au titre de l'environnement, il s'agit de réduire les nuisances liées au transport et de respecter le cadre de vie. Compte tenu des limites de la technologie du moteur à combustion interne, ceci revient à réduire ou tout au moins maîtriser la croissance des véhicules-kilomètres parcourus (OECD, 2000), tout particulièrement là où il existe une offre en transports publics consistante ;
- au titre de la cohésion spatiale et sociale de l'agglomération, il s'agit de maintenir, pour tous les groupes sociaux, une égalité d'accès aux différents lieux à l'intérieur de l'agglomération ;
- au titre de la rareté des ressources, notamment de l'argent public, il s'agit de mettre en place un système de péage propre à ajuster la demande à la capacité disponible et à financer tout développement du système de transport rendu nécessaire.

### **2.3. Quels systèmes techniques sont compatibles avec ces objectifs ?**

Les systèmes techniques de péage doivent être capables de discriminer les usagers de la route, si possible selon les caractéristiques de leur déplacement décrites précédemment. Or, les seules discriminations rendues possibles par ces systèmes techniques sont selon :

- le type de véhicule : véhicule léger ou poids lourd ;
- les points d'entrée ou de sortie du système, approximations des origines et destinations ;
- les itinéraires dans un réseau ;
- les périodes d'utilisation des différents itinéraires.

Toutefois des formes complémentaires de discriminations tarifaires sont possibles, d'une part par une identification préalable de certaines catégories d'usagers au moyen de l'attribution de licences (ex résidents / non résidents) d'autre part au moyen de tarifications non linéaires ou binômes (abonnements).

Dans notre propos, le système de péage choisi en conformité avec ces exigences est une combinaison d'éléments de systèmes ouverts (barrières pleine voie) et semi-fermés (péage en sortie uniquement). Ces aspects ont été développés dans une contribution précédente (Raux et Andan, 1999), à laquelle nous renvoyons le lecteur.

## **3. PRINCIPES ET FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE PEAGE**

La recherche des objectifs précédents sous contraintes est opérée dans le cadre d'une configuration spatiale particulière mais jugée représentative. Les principes et le fonctionnement du système de péage sont ensuite détaillés.

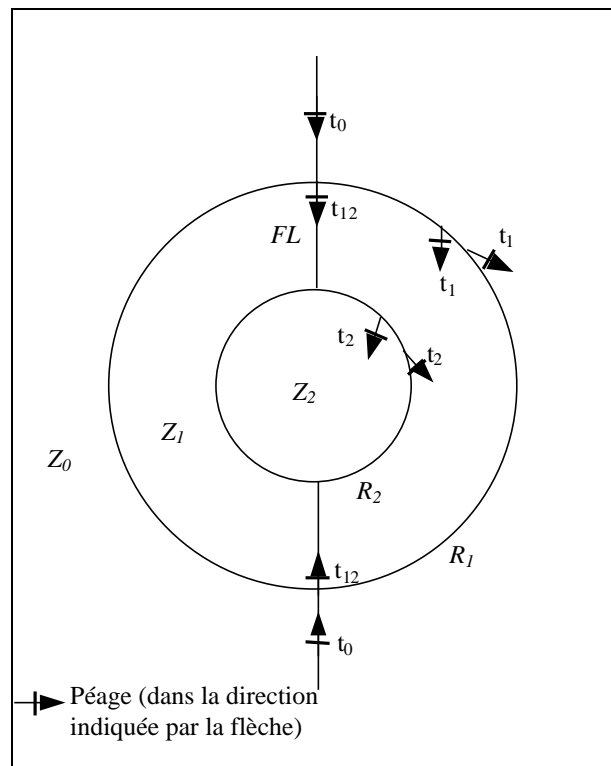
### **3.1. Configuration spatiale**

La configuration spatiale choisie est celle d'une agglomération urbaine desservie par un réseau de roades concentriques et traversée par un ou plusieurs corridors (cf. Figure 1).

Cette configuration spatiale type comporte un corridor nord-sud connecté par une liaison rapide (FL) à deux roades de contournement. La rocade intérieure appelé  $R_2$  délimite la partie dense de l'agglomération (zone  $Z_2$ ), tandis que la rocade externe  $R_1$  délimite la zone moins dense (zone  $Z_1$ ). L'espace extérieur au double anneau, donc extérieur à l'agglomération, correspond à la zone  $Z_0$ .

En outre nous supposons que, par le biais d'aménagements physiques ainsi que de la réglementation des vitesses et de son application effective, la vitesse de circulation varie entre

60 et 100 km/h sur le réseau de voies rapides ( $R_1$ ,  $R_2$ , FL) tandis qu'elle n'est plus que de 30 à 50 km/h sur le réseau de voies secondaires.



**Figure 1 : Configuration spatiale type**

Dans ce genre de configuration, toute la difficulté est de distinguer le trafic de transit (qui circule entre divers points de  $Z_0$ ) de celui des échanges (entre d'une part une origine en  $Z_0$ , et d'autre part une destination en  $Z_1$  ou  $Z_2$  ou inversement) afin de pouvoir les traiter différemment. Ce problème de sélection est d'autant plus complexe à résoudre que les deux zones  $Z_1$  et  $Z_2$  sont de densités très différentes, mais doivent éventuellement être traitées de façon spécifique sur le plan tarifaire, en référence à la contrainte d'équité spatiale.

### 3.2. Les principes à appliquer

La mise en place de la tarification suppose qu'au préalable aient été établis un certain nombre de principes permettant de concilier l'objectif d'accessibilité avec les trois contraintes, avant de discuter des aspects techniques rendant possible l'application de ces principes. Avec quel système de péage pouvons nous concilier l'objectif à atteindre avec nos trois contraintes ?

Nous commencerons donc par la question de l'accessibilité. Ce problème est particulièrement sensible aux heures de pointe où se télescopent les trafics de tous genres. Un principe de base est de tenter de répartir les types de trafics entre les différentes voies et donc de contrôler par le péage l'accès direct au centre par la liaison rapide (FL). De même, les trafics d'échange à destination de la périphérie et le transit doivent être encouragés au maximum à emprunter les rocades.

Une deuxième question concerne le respect des contraintes d'environnement et du cadre de vie. Il convient de protéger au mieux les zones d'urbanisation 1 et 2 d'un trafic superflu, c'est-à-dire les échanges avec la périphérie et le transit.

Ces deux principes d'accessibilité et de protection des zones d'urbanisation nous amènent à envisager trois mesures.

La première mesure concerne les trafics de transit et d'échanges avec la périphérie qu'on cherche à pénaliser d'autant plus fortement qu'ils avancent vers la zone 2, tout particulièrement aux heures de pointe. Ceci nous amène à établir une hiérarchie tarifaire entre les axes de circulation selon leur plus ou moins grande proximité au centre.

La seconde mesure concerne les usagers locaux qu'il faut dissuader le plus possible de circuler en automobile à l'intérieur des zones denses par un double jeu :

- les automobilistes sont soumis à un péage, plus élevé aux heures de pointe, dans la mesure où ils peuvent bénéficier d'une alternative en transports publics consistante ;
- simultanément les usagers locaux dont les origines et destinations sont éloignées à l'intérieur d'une même zone sont incités à emprunter si possible les rocades plutôt qu'à faire un long parcours sur le réseau secondaire à l'intérieur des zones denses.

Une troisième mesure peut être, si les autorités locales le souhaitent, d'appliquer un principe d'équité d'accessibilité spatiale pour les usagers locaux. Cela passerait par l'uniformisation des tarifs qui leur sont imposés, quelle que soit la localisation de leur résidence en zone 1 ou 2.

### **3.3. Les aspects techniques du péage**

Une fois établis ces principes de base, l'étape suivante consiste à mettre en place les moyens de les appliquer. Nous traiterons tour à tour le cas des trafics de transit et d'échanges, puis celui des trafics locaux.

Le moyen qui permet d'appliquer une tarification croissante au fur et à mesure que les trafics de transit et d'échanges approchent du centre est de mettre en place un système de contrôle des sorties sur les axes rapides :

- à la sortie des axes du réseau interurbain on applique une taxation  $t_0$  d'entrée sur le réseau de voies express de l'agglomération ; c'est le seul tarif qui serait acquitté par le trafic de transit se contentant de contourner l'agglomération par la rocade  $R_1$  ;
- sur la liaison rapide (FL) qui relie la rocade extérieure  $R_1$  à la rocade intérieure  $R_2$ , est mise en place une barrière pleine voie, où les trafics allant en direction des zones 1 et 2 sur cette section sont contrôlés et soumis à une taxation  $t_{12}$ , pénalisant leur pénétration vers la zone dense 2.
- sur les rocades 1 et 2, les barrières de péage sont situées sur toutes les voies de *sortie* des rocades et permettent d'appliquer les taxations  $t_1$  et  $t_2$  aux véhicules qui sortent de ces axes que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur de chaque anneau. Ces taxations pénalisent la circulation à l'intérieur des zones denses et en proximité de ces zones.

Une fois résolu le cas des trafics de transit et d'échanges, que se passe-t-il pour les usagers locaux ? Ces solutions techniques risquent de pénaliser leur usage des rocades alors même que cette utilisation est souhaitée pour que ces usagers évitent de traverser les zones denses. Ceci nous amène à prévoir un système d'identification pour les résidents (macaron ou équipement électronique). Cette identification leur donne droit au libre usage des rocades, l'arbitrage entre les différentes voies se faisant pour eux sur la base des vitesses autorisées, plus faibles sur la voirie interne aux zones 1 et 2 que sur les voies rapides  $R_1$ ,  $R_2$  et FL.

Cependant pour dissuader les résidents de circuler aux heures de pointe, quelque soit les itinéraires empruntés, un péage de circulation dans les zones 1 et 2 est instauré. Ce péage peut être acquitté forfaitairement sous la forme d'un passe résident (PR).

Enfin l'ensemble de ces tarifs peuvent être modulés dans le temps, selon l'importance des risques de congestion, en distinguant les heures de pointe ou les heures creuses, et les jours de semaine ou les week-ends.

Concrètement, le dispositif mis en place aboutit à un traitement différent de l'utilisateur, selon qu'il est ou non résident dans les zones 1 et 2 :

- les résidents des zones 1 et 2 doivent s'acquitter d'une redevance pour circuler, redevance dont le tarif peut varier selon les heures de déplacement. Cette redevance (passe résident PR) leur donne le droit de circuler sur les voies internes aux zones 1 et 2 et d'emprunter librement toutes les voies rapides  $R_1$ ,  $R_2$  et FL.
- les non-résidents doivent acquitter le péage  $t_0$  au moment où ils rentrent sur le réseau de voies rapides de l'agglomération, qu'ils y pénètrent effectivement ou qu'ils contournent cette dernière par la rocade extérieure  $R_1$ . Les non-résidents qui veulent rentrer dans l'agglomération (sur les voies rapides FL ou  $R_2$ , ou à l'intérieur des zones 1 ou 2), doivent cumuler plus ou moins les péages ( $t_{12}$  ou  $t_1$ ,  $t_2$ ) selon l'endroit où ils se rendent et payer plus ou moins cher selon le jour ou l'heure du déplacement<sup>3</sup>.

#### **4. APPLICATION AU CAS DE L'AGGLOMERATION LYONNAISE**

Dans cette application, nous allons voir quels scénarios de péage sont susceptibles de répondre au mieux aux objectifs et contraintes précédemment évoqués. Pour cela nous utiliserons quatre types de paramètres, à savoir, la configuration spatiale des péages (cordon ou zone), la cible (trafic d'origine externe ou trafic résident), la capacité routière offerte et les tarifs. Nous le ferons dans une démarche progressive, en testant différents scénarios de péage, en partant du réseau routier actuel puis en modifiant la capacité routière.

##### **4.1. Méthode de simulation des scénarios de péage**

L'application de la stratégie de péage élaborée précédemment au cas de l'agglomération lyonnaise nécessite quelques adaptations, pour tenir compte des limites du modèle utilisé et du contexte urbain particulier.

Cette application repose sur l'utilisation du « modèle stratégique de simulation des déplacements » développé par le LET et la SEMALY en 1997. Le champ d'application de ce que nous appelons un modèle stratégique est de pouvoir simuler à l'échelle d'une agglomération les conséquences à moyen et long terme de politiques variées de transports, dans des contextes contrastés et non maîtrisés de développement urbain, économique et socio-démographique.

Le modèle stratégique repose sur une architecture classique de cinq sous-modèles qui sont : (1) la génération des déplacements par zone, estimée à partir des évolutions socio-

---

<sup>3</sup> Le traitement différencié des résidents et des non-résidents risque à l'évidence de se heurter au principe européen de non-discrimination. Une manière de contourner ce problème serait de se limiter à proposer des abonnements à tarif dégressif selon l'intensité d'usage : par leurs caractéristiques ces abonnements intéresseraient essentiellement les résidents.



démographiques et économiques ; (2) la distribution spatiale des déplacements par origines et destinations, reposant sur un modèle gravitaire dont la fonction de résistance varie selon les coûts généralisés de déplacement entre zones ; (3) le choix modal de zone à zone qui estime la part des modes légers puis partage les modes motorisés entre transports collectifs et voiture particulière à l'aide d'un logit agrégé ; (4) la transformation des matrices origine-destinations à la journée en matrices d'heure de pointe par application de coefficients calculés sur l'observation du passé ; ces quatre premiers sous-modèles sont calés et fonctionnent en chaînes séparées pour quatre types de motifs, travail, achats et services, éducation, autres déplacements ; enfin (5) les déplacements tous motifs confondus entrent en concurrence sur les réseaux, entre eux et avec le trafic de transit et d'échange extérieur à l'agglomération, en étant affectés par une procédure itérative sur les différents itinéraires.

La recherche de régularités de comportements à l'échelle de la dizaine d'années s'est faite sur la base de l'analyse des trois enquêtes ménages réalisées à Lyon en 1976-77, 1985-86 et 1994-95 (Raux et alii, 1997). Cette profondeur rétrospective de 20 ans rend plus solides les invariants (spécifications des modèles et valeurs des paramètres) élaborés à partir de l'analyse de ces données (cf. Lichère, 1997a, 1997b ; Raux, 1998). Le fait d'asseoir le calage du modèle sur cette profondeur rétrospective nous permet d'avoir une certaine confiance dans les résultats des simulations présentées ci-après, malgré les erreurs qui entachent forcément toute procédure de calage.

Néanmoins, le modèle a été calé sur un passé caractéristique d'une baisse continue des coûts de déplacements, notamment en voiture particulière, qu'il s'agisse de l'amélioration de l'offre routière ou de l'évolution des prix du carburant en comparaison du pouvoir d'achat. Cela s'est traduit par l'allongement des distances parcourues, dont rend compte le modèle à travers le sous-modèle de distribution spatiale des origines et destinations.

Or, l'instauration d'un péage de cordon ou de zone pour circuler dans l'agglomération représenterait une rupture, se traduisant par de multiples effets : changements d'itinéraire en cas de péages différenciés selon les itinéraires ; changements d'heure de déplacement face à un péage de pointe ; changements de mode de déplacement ; changements de destination pour les motifs peu contraints ; et des effets à moyen et long terme sur la localisation des activités (emplois, commerces, services, habitat), induisant in fine d'autres changements dans les destinations des déplacements.

Le sens et l'amplitude nets de ces derniers effets sont difficiles à estimer puisque, par exemple, la baisse de trafic résultant du péage amènerait une augmentation des vitesses, d'où des gains de temps pouvant compenser les coûts monétaires, d'où une incitation à conserver les activités dans les zones soumises à péage. Cette incertitude est le reflet de l'état limité de nos connaissances actuelles sur les interactions entre conditions de transport et urbanisation. En outre, comme les coûts des arrivées en avance ou en retard sont mal connus au niveau individuel, le modèle se limite à appliquer des coefficients de concentration de la demande en heure de pointe, calés sur l'observation du passé : là encore l'effet d'un péage de pointe sur le changement d'heure de départ ne serait que très mal pris en compte.

C'est pourquoi nous avons choisi de limiter la simulation à une situation hypothétique, mais maîtrisée sur le plan quantitatif, dans laquelle les masses de déplacements par couple origine-destination restent constantes, seuls le choix du mode et des itinéraires pour aller d'une zone à l'autre variant. Autrement dit, *tout se passe comme si les différents scénarios de péage avaient été en place en 1995 et que les résidents devaient effectuer coûte que coûte leurs déplacements pour se rendre à destination à l'heure de pointe du matin.*

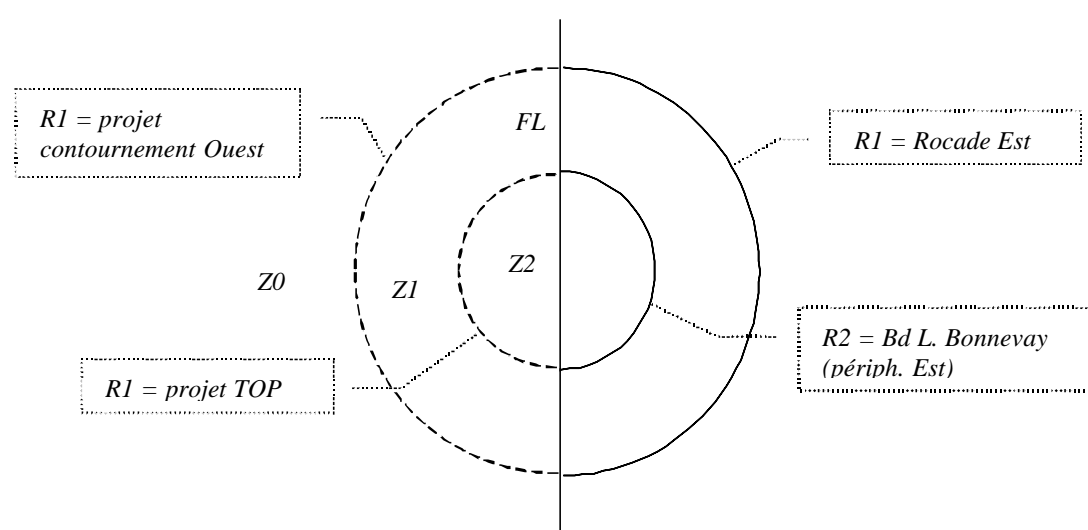
Cette situation est assez réaliste pour les déplacements en voiture à destination du travail (au nombre de 124.000 soit plus de la moitié des 224.000 déplacements en voiture des résidents à

l'heure de pointe du matin) ; elle l'est moins pour les autres motifs comme les achats, les loisirs ou les autres déplacements pour lesquels le choix de la destination ou de l'heure de déplacement est plus flexible à court terme.

Techniquement, la situation socio-économique (populations, emplois et leur localisations, revenus, motorisation) et ses effets sur le niveau de mobilité, ainsi que la distribution spatiale des déplacements (origines et destinations) sont figés à leurs niveaux de 1995 (année de base du modèle). Parmi les quatre étapes du modèle, seuls le choix modal (pour les déplacements des résidents) et le choix d'itinéraire (débit-vitesse) sont « actifs » : une dégradation des conditions de déplacements en voiture particulière pourra provoquer un report sur les modes autres que la voiture particulière ou un changement d'itinéraire, et inversement. Enfin le modèle calcule les conditions de déplacements sur le réseau routier à l'heure de pointe du matin (7h-8h en 1995).

Le modèle repose sur un découpage spatial de l'agglomération en 25 zones et une représentation de l'offre routière sous forme d'arcs de zone à zone, chaque arc étant défini par une capacité (unités de voitures particulières par heure) et une vitesse nominale, représentatives de l'offre de voirie. Le découpage en deux zones  $Z_1$  et  $Z_2$  d'application des scénarios de péage est une redistribution des 25 zones qui suit à peu près la délimitation suivante (cf. Figure 2) :

- la zone interne  $Z_2$  comprend pour l'essentiel les communes de Lyon et Villeurbanne, elle est délimitée à l'Est par le boulevard Laurent Bonnevey et englobe à l'Ouest les communes de Ste Foy, Oullins et Pierre-Bénite, ce qui correspond à une délimitation par un projet de tronçon ouest périphérique (TOP) ; elle comprend une population résidente de 600.000 habitants (en 1995) et un peu moins de 60% des emplois de l'agglomération (en 1990).
- la zone ou anneau externe  $Z_1$  est délimitée à l'Est par la « rocade Est » et ses raccordements par l'A46, au nord à l'A6 et au sud à l'A7 ; elle est délimitée à l'Ouest par les limites de l'agglomération du Grand Lyon ; elle comprend une population résidente de 500.000 habitants (1995) et environ 40% des emplois de l'agglomération (1990) ;



**Figure 2 : Configuration schématique de la voirie rapide de l'agglomération lyonnaise**

Par rapport à la configuration de la Figure 1, la configuration réelle testée ici ne comprend que la moitié Est de chacun des deux anneaux  $R_1$  et  $R_2$ . L'introduction de la moitié Ouest de l'anneau  $R_1$  sera testée ci-après.

Les flux de transit et d'échange sont ceux qui pénètrent depuis l'extérieur de la zone  $Z_1$  et sont mesurés par enquêtes cordon (datant de 1979 et 1990), et extrapolés pour refléter la situation en 1995 : ils représentent à l'heure de pointe du matin un peu plus de 49.000 équivalents voiture particulière soit 18% d'un total de 274.000 voitures particulières (les autres sont celles des résidents).

On suppose que l'on a mis en oeuvre la procédure de différenciation des trafics, entre trafic externe (transit et échange) d'une part, et trafic résident (celui des résidents de l'agglomération) d'autre part, de manière à pouvoir leur appliquer une tarification distincte. En outre, une version simplifiée du système de péage est appliquée ici, en ce sens qu'il n'y aurait pas de péage  $t_0$  et que le péage  $t_{12}$  serait égal à  $t_1$ .

Pour analyser la performance du système de transport routier sous l'effet de ces scénarios de péage, nous nous appuyons sur les variations des indicateurs suivants :

- pour ce qui est du degré de congestion, l'indicateur retenu est celui des durées moyennes de déplacements en voiture particulière : comme les masses de déplacements par origines et destinations sont fixées, une augmentation de la durée moyenne reflète le double effet de l'aggravation de la congestion et de l'allongement des distances parcourues pour éviter les points de congestion ;
- pour les atteintes à l'environnement et au cadre de vie, les indicateurs sont les émissions polluantes, les véhicules-kilomètres parcourus et les flux de véhicules comme indicateurs de l'intensité de trafic et donc des niveaux de bruit et d'accidents ;
- pour les aspects financiers de ces scénarios, il s'agit des recettes financières brutes.

Dans l'ensemble des scénarios de péage, nous avons supposé que les transports collectifs, qui déjà augmenteront leur productivité du fait de la fluidité accrue du trafic, peuvent également augmenter significativement leur offre de manière à recevoir le surcroît de clientèle des automobilistes abandonnant la voiture. Le financement de cette offre supplémentaire est supposé résolu par ailleurs. De même, pour les scénarios incluant une nouvelle rocade de contournement, cette dernière est supposée financée par ailleurs. Nous reviendrons sur cette question du financement en conclusion.

Les résultats des différents scénarios sont regroupés dans le Tableau 1. Ils sont donnés en variation (en pourcentage) par référence à la situation de 1995 en ce qui concerne les durées des déplacements, les flux en voiture particulière affectés et les véhicules-kilomètres parcourus, le tout à l'heure de pointe du matin et dans un découpage spatial des flux en cinq catégories : les flux à l'intérieur de la zone centrale  $Z_2$ , les flux d'échanges entre  $Z_1$  et  $Z_2$  et vice-versa, les flux à l'intérieur de la zone externe  $Z_1$  et finalement le total des flux.

Pour ce qui est des émissions polluantes, l'impact ne concernant qu'un dixième du trafic journalier est forcément très faible : nous donnons toutefois les évolutions qui résulteraient de l'extrapolation de ces impacts à la journée, c'est-à-dire en cas d'extension des péages à la journée. Les évolutions sont données en base 100 par rapport au niveau des émissions de polluants à la journée en 1995.

				distances VP hpm affecté milliers v-km					flux VP hpm affecté milliers vup					durées des déplacements VP mn					émissions journalières tonnes					Recettes MF						
				22	22>21	21>22	21	total	22	22>21	21>22	21	total	22	22>21	21>22	21	total	SO2	NOx	Pous.	CO	CO2	HCNM	Pbom	cordon externe	cordon résident	zone résident	total	
valeurs 1995				milliers v-km					milliers vup					mn					tonnes					MF						
				394	268	220	873	1856	115	47	59	168	387	20	35	31	17	22	3,30	26,0	1,06	224	3408	30,1	0,07					
scénarios				t1	t2	tz	variations / base 1995 (%)																	en base 100 (1995)					montant brut (MF)	
1	double cordon sur trafic externe	5	10		-1%	0%	0%	+3%	+1%	-1%	0%	0%	+2%	+1%	0%	0%	0%	+2%	0%	100	100	101	102	100	103	100	38		39	
2	double cordon sur trafic externe	10	15		-2%	-2%	-2%	+0%	+2%	-1%	-1%	-1%	+4%	+1%	0%	0%	-1%	+3%	+1%	102	101	103	104	102	106	102	58		58	
3	double cordon sur trafic externe et sur trafic résidents	5	10		-1%	-5%	-5%	+8%	+2%	-1%	-5%	-5%	+5%	0%	0%	-1%	-4%	+3%	0%	101	99	101	103	101	105	101	39	88	127	
4	double cordon sur trafic externe et zone sur trafic résidents	5	10	5	-3%	-2%	-1%	+3%	0%	-3%	-1%	-1%	+2%	0%	-2%	0%	-2%	+1%	-1%	99	99	99	100	99	101	99	38	207	245	
5	double cordon sur trafic externe et zone sur trafic résidents	10	10	10	-5%	-3%	-2%	+2%	-1%	-5%	-3%	-2%	+1%	-2%	-4%	-1%	-3%	+2%	-1%	98	98	100	100	98	101	98	45	435	480	
6	double cordon sur trafic externe et zone sur trafic résidents	15	15	15	-6%	-6%	-5%	+4%	-2%	-8%	-8%	-4%	+2%	-3%	-5%	-1%	-5%	+2%	-2%	97	97	99	99	97	100	97	64	594	650	
Ajout contournement ouest																														
10	sans péage				0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	99	100	99	99	99	99	99					
11	double cordon sur trafic externe	5	10		-1%	0%	0%	+3%	+1%	-1%	0%	0%	+2%	+1%	0%	0%	0%	+2%	0%	100	100	101	102	100	103	100	38		38	
12	double cordon sur trafic externe	10	15		-2%	-3%	-2%	+6%	+2%	-1%	-1%	-1%	+4%	+1%	0%	0%	-1%	+3%	+1%	102	101	103	104	102	106	102	58		58	
13	double cordon sur trafic externe et sur trafic résidents	5	10		-1%	-5%	-5%	+8%	+2%	-1%	-5%	-5%	+5%	0%	0%	-1%	-4%	+3%	0%	101	99	101	103	101	105	101	39	88	127	
15	double cordon sur trafic externe et zone sur trafic résidents	10	10	10	-5%	-3%	-2%	+2%	-1%	-5%	-3%	-2%	+1%	-2%	-4%	-1%	-3%	+2%	-1%	98	98	100	100	98	101	98	45	405	450	
Ajout contournement ouest et restriction de capacité sur itinéraire radial																														
20	sans péage				-2%	-2%	-1%	+1%	0%	-2%	0%	-1%	+1%	0%	+3%	+5%	+7%	+3%	+4%	103	100	104	104	102	105	103				
21	double cordon sur trafic externe	5	10		-2%	-3%	-3%	+6%	+1%	-2%	-2%	-1%	+4%	+1%	+2%	+4%	+6%	+5%	+4%	104	100	108	108	103	111	104	37		37	
22	double cordon sur trafic externe	10	15		-2%	-4%	-4%	+7%	+2%	-3%	-2%	-2%	+5%	+1%	+2%	+4%	+6%	+5%	+5%	105	100	109	110	105	114	105	57		57	
25	double cordon sur trafic externe et zone sur trafic résidents	10	10	10	-6%	-5%	-5%	+5%	-1%	-7%	-4%	-3%	+3%	-2%	-2%	+3%	+3%	+4%	+2%	101	99	105	105	101	108	101	44	404	448	
28	double cordon sur trafic externe et zone sur trafic résidents	15	15	15	-8%	-8%	-7%	+6%	-1%	-10%	-7%	-5%	+3%	-3%	-3%	+3%	0%	+5%	+1%	101	97	104	104	100	108	101	63	593	658	
27	double cordon sur trafic externe et zone sur trafic résidents	20	20	20	-12%	-11%	-9%	+6%	-3%	-14%	-9%	-8%	+3%	-5%	-5%	+2%	0%	+4%	0%	99	95	101	102	98	104	99	82	770	852	

Tableau 1 : Résultats des scénarios de péage

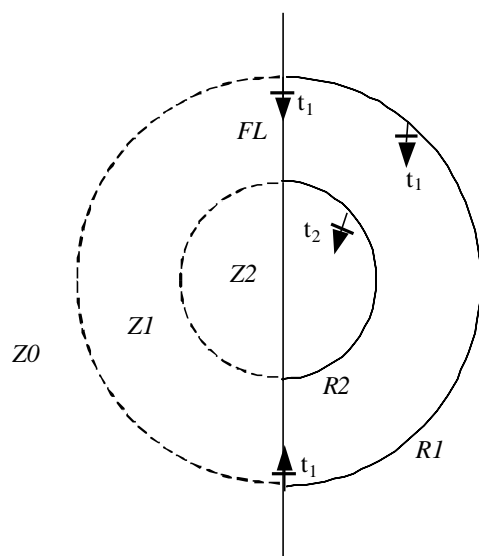
Les recettes sont exprimées en millions de francs (MF) et calculées pour une année entière sur la base d'une mise en œuvre du péage uniquement à l'heure de pointe du matin, sur 200 jours dans l'année (5 jours par semaine, sauf jours fériés et certaines périodes de vacances). Une extrapolation de ces chiffres dans l'hypothèse d'une extension du péage à la journée est possible. Le facteur multiplicateur à appliquer pour les recettes du péage de *cordon* est de l'ordre de 5 puisque le trafic d'heure de pointe représente environ un dixième de celui de la journée et que seul le trafic pénétrant dans le cordon devrait payer. Pour le péage de *zone*, touchant toutes les circulations effectuées à l'intérieur de la zone, le montant serait forfaitaire à la journée : comme le nombre de déplacements en voiture particulière à l'heure de pointe représente environ un dixième des 2,4 millions de déplacements effectués à la journée par les résidents et que le nombre moyen quotidien de déplacements automobiles réalisé par les automobilistes conducteurs est de 4, le facteur multiplicatif à appliquer est de 2,5.

Il s'agit de recettes brutes et pour obtenir des recettes nettes il faut déduire les coûts de fonctionnement pour les péages. Pour le péage de cordon, avec un système de barrières de péage en pleine voie et aux bretelles de sortie exploitées chacune avec une supervision humaine, les coûts de fonctionnement peuvent être estimés à environ 90 MF par an (source CERTU). La mise en place d'un péage s'approchant techniquement d'un péage de zone nécessite un équipement entièrement électronique avec équipement embarqué à bord des véhicules. La transition peut se faire avec un système papier du type vignette : les coûts peuvent varier alors de quelques MF à un ordre de grandeur de 10% des recettes (cf. exemple du péage électronique de Trondheim en Norvège).

Afin d'identifier les effets des différentes options de péage et d'offre routière, trois catégories de scénarios combinant péages de cordon et de zone ont été simulées avec des variantes tarifaires et de capacité routière : (a) sur la base du réseau routier en 1995 ; (b) avec ajout d'une rocade de contournement extérieure à l'agglomération ; (c) avec ajout d'une rocade de contournement extérieure à l'agglomération et restriction de capacité sur l'itinéraire radial.

#### **4.2. Les scénarios de péage avec le réseau routier actuel**

Le scénario 1 consiste à appliquer un péage de double cordon au trafic externe (cf. Figure 3) avec un tarif modique de 5F sur le cordon extérieur et, plus élevé, de 10F sur le cordon intérieur : il en résulte qu'un automobiliste non résident dans l'agglomération et désirant se rendre dans l'hypercentre devra payer 15F pour cela. L'impact principal de ce double cordon est d'augmenter la circulation dans la zone extérieure ( $Z_1$ ) que ce soit en termes de flux en voiture particulière (+2%) ou en véhicules-kilomètres parcourus dans cette zone (+3%). Corrélativement la durée moyenne des déplacements augmente légèrement (+2%) en zone externe  $Z_1$ . Le scénario 2 avec un tarif plus élevé (respectivement 10 et 15F) accentue ce phénomène avec une augmentation de 6% des véhicules-kilomètres parcourus dans la zone extérieure  $Z_1$ . Pour ces deux scénarios, quand on compare les distances parcourues aux flux de véhicules, on constate qu'il y a un effet d'allongement des distances parcourues qui vient s'ajouter aux redistributions des flux de la zone centrale vers la zone externe. Par contre ce n'est qu'à partir du tarif appliqué dans le scénario 2 que commence à apparaître une diminution des véhicules-kilomètres parcourus dans la zone centrale  $Z_2$  et dans ses liaisons avec  $Z_1$  (-2%). Cet effet n'arrive pas à contrebalancer l'augmentation des véhicules-kilomètres dans la zone externe et, en conséquence, la pollution augmente quand même.



**Figure 3 : Scénarios de péages de cordon**

Pour ces deux scénarios les recettes restent modérées puisque de l'ordre de quelques dizaines de millions de francs par an.

Le scénario 3 consiste à appliquer le péage de double cordon à la fois au trafic externe et au trafic résident avec un tarif de 5F sur le cordon extérieur et de 10F sur le cordon intérieur. Le fait d'appliquer le péage de double cordon au trafic résident (soit plus de 80% des flux totaux à l'heure de pointe du matin) a pour conséquence que la diminution des véhicules-kilomètres parcourus est plus importante (-5%) sur les liaisons entre  $Z_1$  et  $Z_2$ , qui correspondent au franchissement du cordon intérieur. Par contre les véhicules-kilomètres ne baissent que très peu (-1%) dans la zone centrale  $Z_2$  : en effet la baisse du nombre de véhicules entrant depuis la zone externe  $Z_1$  a tendance à alléger la charge du réseau de voirie, mais comme les véhicules circulant à l'intérieur du cordon délimitant  $Z_2$  ne sont pas soumis au péage, l'équilibre de la circulation automobile se rétablit au même niveau que précédemment (la part des transports collectifs dans les déplacements internes à  $Z_2$  ne varie pas). A l'opposé, l'augmentation des véhicules-kilomètres parcourus est plus forte en zone externe  $Z_1$  (+8%) que dans le cas des scénarios 1 et 2. La durée moyenne des déplacements est en baisse sur la liaison de  $Z_1$  vers  $Z_2$ , conséquence du péage sur cordon entrant, tandis qu'elle augmente à l'intérieur de la zone externe  $Z_2$ . Au total la redistribution spatiale des flux et l'allongement des itinéraires, avec la non-diminution, voire la hausse des circulations à l'intérieur des cordons, fait que le niveau de pollution globale est inchangé par rapport aux scénarios 1 et 2. Enfin les recettes sont mécaniquement multipliées par un facteur de 1,5 à 2 par rapport aux scénarios 2 et 1 respectivement, du fait de l'application du péage au trafic résident passant d'une zone à l'autre.

En conséquence les deux propositions suivantes peuvent être formulées :

**Proposition 1 :** un péage de cordon appliqué uniquement au trafic d'origine externe à l'agglomération (transit et échange) a tendance à diminuer les véhicules-kilomètres parcourus dans la zone centrale mais à les augmenter dans la zone externe. Il en résulte une aggravation des émissions polluantes. La faible part du trafic concerné fait que les recettes nettes sont très limitées voire négatives.

Proposition 2 : l'application du péage de cordon également au trafic résident accentue l'augmentation des véhicules-kilomètres dans la zone externe, ne fait pas diminuer voire augmente ces véhicules-kilomètres à l'intérieur des cordons et au total ne réduit pas le niveau des émissions polluantes par rapport aux précédents scénarios. Par contre les recettes sont quasi doublées.

Bien évidemment l'effet sur la circulation à l'intérieur des cordons varie avec la taille de ces derniers. Plus le cordon est petit, plus il affectera de déplacements : un système multi-cordons avec des cordons de petite taille est d'ailleurs un moyen technique de s'approcher du péage de zone.

Les scénarios 4, 5 et 6 consistent à appliquer un double péage de cordon au trafic externe et un péage de zone au trafic des résidents, avec différentes variantes tarifaires. Tandis que le trafic externe doit acquitter un péage à l'entrée de chacun des deux cordons, le trafic résident doit acquitter un péage unique et indifférencié pour toute circulation à l'intérieur de l'ensemble des zones 1 et 2, y compris les rocades. De ce fait la diminution des trafics s'opère non seulement sur les passages entre zones 1 et 2 mais aussi à l'intérieur de la zone interne  $Z_2$  qui concentre environ 60% des emplois de l'agglomération et vers lesquels se portent les déplacements à l'heure de pointe du matin, tandis que l'augmentation des trafics dans la zone externe  $Z_1$  est modérée. Au total les véhicules-kilomètres parcourus sur l'ensemble de l'agglomération sont stables voire abaissés à mesure que les tarifs appliqués s'élèvent. Il en découle en outre une légère diminution des durées de déplacements par comparaison avec les scénarios 1, 2 et 3. Du fait de la diminution des circulations internes aux cordons qu'ils provoquent, ces trois scénarios stabilisent voire diminuent le niveau des émissions polluantes par rapport à la situation de base de 1995. Enfin les recettes tarifaires sont multipliées par un facteur d'au moins quatre.

D'où la proposition suivante :

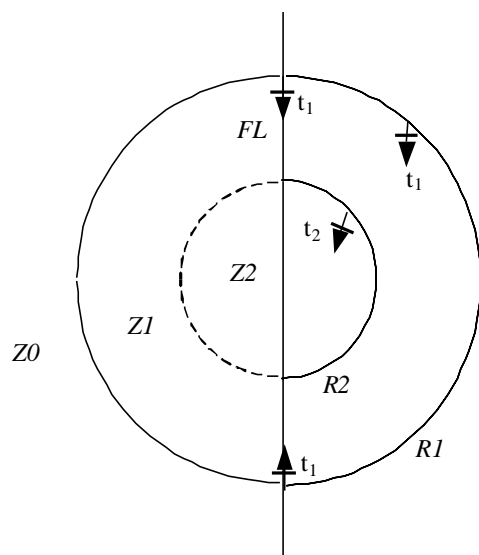
Proposition 3 : l'ajout d'un péage de zone sur le trafic résident, au péage de cordon sur le trafic externe, permet de stabiliser voire abaisser les véhicules-kilomètres parcourus et les émissions polluantes à l'échelle de l'agglomération. Il contrebalance l'effet d'allongement des itinéraires exercé par le péage de cordon sur le trafic externe. En outre, il permet de dégager des recettes importantes.

#### **4.3. Les scénarios de péage avec ajout d'une rocade de contournement**

L'ajout d'une rocade autoroutière à deux fois deux voies à l'ouest de l'agglomération (cf. Figure 4), que l'on suppose financée par ailleurs, ne modifie pas significativement l'équilibre du système dans un contexte sans péage, qu'il s'agisse des véhicules-kilomètres parcourus dans les différentes zones, des flux de déplacements automobiles, des durées de déplacements et des émissions polluantes (cf. scénario 10). Une rocade située à grande distance du centre de l'agglomération où s'effectuent la majeure partie des déplacements (en base 1995), a peu d'effet sur ces déplacements : par contre, elle aurait un effet d'induction probable mais qui n'est pas pris en compte dans le cadre de l'exercice limité qui est le nôtre.

Les scénarios 11, 12 et 13 sont les pendants des scénarios 1, 2 et 3 avec cet ajout de la rocade autoroutière, soit respectivement : un double péage de cordon appliqué au trafic externe avec des tarifs de 5 et 10 F (scénario 11), et des tarifs de 10 et 15 F (scénario 12) ; un double péage de cordon appliqué au trafic externe et au trafic résident avec des tarifs de 5 et 10 F (scénario 13). La comparaison respective des résultats avec ceux des scénarios 1, 2 et 3, montre que l'on arrive dans chaque cas à un résultat quasi identique quelque soit la catégorie d'indicateurs considérée (véhicules-kilomètres, flux, durées, polluants). Il en est de même si

l'on compare les résultats du scénario 15 avec ceux du scénario 5 correspondant (péage de double cordon sur trafic externe et péage de zone sur trafic résident). La rocade extérieure à l'ouest n'est pas suffisamment attractive pour la desserte interne à l'agglomération.



**Figure 4 : Scénarios de péage avec ajout d'un contournement à l'Ouest**

D'où la proposition suivante :

Proposition 4: l'ajout d'une capacité supplémentaire de contournement, malgré les opportunités nouvelles qu'elle offre au trafic externe ou interne à l'agglomération, n'a *par elle-même* que peu d'effet de détournement de trafic de l'intérieur de l'agglomération.

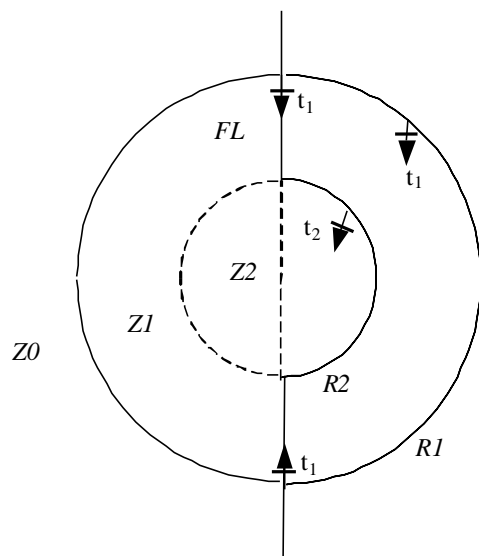
#### **4.4. Les scénarios de péage avec ajout d'une rocade de contournement et restriction de capacité sur l'itinéraire radial**

Pour réduire les nuisances dues à la circulation dans les zones centrales, il est possible d'introduire une incitation supplémentaire à éviter les zones centrales : ce peut être fait en réduisant la capacité sur l'itinéraire radial parallèle à celui du contournement (Figure 5), soit en restreignant la voirie ad hoc, soit en réduisant physiquement ou réglementairement la vitesse. En outre, dans le premier cas, s'offre l'opportunité d'affecter la voirie libérée à d'autres modes et notamment aux transports collectifs routiers.

Le scénario 20 représente la conjonction du contournement ouest et d'une restriction de capacité sur l'itinéraire radial dans sa partie centrale (soit une voie autoroutière en moins dans chaque sens et une réduction de la vitesse nominale à 60 km/h sur le tronçon autoroutier du centre-ville), en l'absence de tout péage. Si les totaux de véhicules-kilomètres parcourus et de flux de déplacements ne sont pas modifiés par rapport à la situation de base en 1995, il apparaît une légère redistribution des trafics vers la zone externe  $Z_1$ . Par contre il y a augmentation générale des durées moyennes de déplacements et, du fait de cette aggravation de la congestion, une augmentation des polluants émis.

Proposition 5: une restriction de capacité de voirie dans le centre conjointement à l'ajout d'une capacité supplémentaire de contournement permet d'écarter une faible part du trafic du centre mais augmente à la fois la congestion et les émissions polluantes.





**Figure 5 : Scénarios de péage avec restriction de capacité sur l'itinéraire radial central**

Les scénarios 21 et 22 sont les pendants des scénarios 11 et 12 avec l'ajout de la rocade ouest et la restriction de capacité sur l'itinéraire radial, soit un double péage de cordon appliqué au trafic externe avec respectivement des tarifs de 5 et 10 F (scénario 21), et des tarifs de 10 et 15 F (scénario 22). La comparaison des résultats respectifs montre que le péage et la restriction de capacité se cumulent pour accentuer la redistribution des véhicules-kilomètres de la zone interne  $Z_2$  vers la zone externe  $Z_1$  : du point de vue des véhicules-kilomètres et des flux de déplacements automobiles, le scénario 21 avec péages de 5 et 10 F et restriction de capacité radiale, est équivalent au scénario 12 avec péages de 10 et 15 F sans restriction de capacité radiale. Par contre, dans ces scénarios avec restriction de capacité, là encore la dégradation des durées moyennes de déplacements en voiture particulière est très nette par rapport aux scénarios 11 et 12, plus modérée par rapport au scénario 20 (sans péage) sauf en zone externe  $Z_2$  (+5% au lieu de +3%). Il en résulte une aggravation encore plus forte des émissions polluantes, si on les compare à celles du scénario 20.

Proposition 6 : malgré l'ajout d'une capacité supplémentaire de contournement, un péage de cordon appliqué au seul trafic externe à l'agglomération et une restriction de capacité de voirie dans le centre se renforcent pour augmenter significativement à la fois la congestion et les émissions polluantes malgré l'effet positif de diminution du trafic dans le centre.

Les scénarios 25 et 26 sont les pendants des scénarios 5 et 6, soit un double péage de cordon appliqué au trafic externe et un péage de zone appliqué au trafic des résidents, avec des tarifs respectivement de 10, 10 et 10F (scénario 25), et de 15, 15 et 15 F (scénario 26). Il apparaît que la baisse des véhicules-kilomètres parcourus dans les échanges entre la zone centrale  $Z_2$  et la zone externe  $Z_1$  est plus forte que dans les scénarios 5 et 6, tandis que l'augmentation des véhicules-kilomètres parcourus dans la zone externe  $Z_1$  est plus forte. Enfin l'aggravation de la pollution mise en évidence avec les scénarios 21 et 22 est ici moindre.

Ce n'est qu'à partir d'un péage de 20 F (cordons et zone, cf. scénario 27) que la plupart des postes d'émission de polluants sont à peu près stabilisés voire abaissés, sauf les HCNM (hydrocarbures non méthaniques) très sensibles à la congestion : c'est une conséquence de la baisse significative des véhicules-kilomètres parcourus dans le centre (en  $Z_2$  et entre  $Z_1$  et  $Z_2$ ) qui contrebalance largement l'augmentation de trafic en  $Z_1$ , réduisant au total les véhicules-kilomètres de 3%.

Proposition 7 : l'objectif de diminution des émissions polluantes nécessite d'accompagner des mesures de restriction de voirie par des mesures tarifaires réduisant l'usage de la voiture particulière par les automobilistes résidents dans l'agglomération.

La généralisation des pots catalytiques (qui n'a pas été prise en compte ici puisque le parc automobile est celui de 1995) et l'arrivée des nouveaux diesel devraient permettre de réduire fortement la plupart de ces émissions et notamment les HCNM, sous réserve du problème des parcours à froid, importants en milieu urbain. Il reste, même avec une hypothèse d'un parc réparti entre 60% de véhicules essence catalysés et 40% de nouveaux diesels vers 2005, la question des poussières émises par le diesel, dans une moindre mesure celle du SO<sub>2</sub> et des NO<sub>x</sub>, et surtout celle du CO<sub>2</sub>, dont les émissions sont quasi proportionnelles aux véhicules-kilomètres.

Le financement dégagé dans certains scénarios, ceux appliquant un péage de zone au trafic résident, permet d'envisager une contribution au financement à la fois des rocade d'agglomération et de l'offre en transports collectifs. Par exemple des recettes nettes de 400 MF par an (scénario 25) représentent l'équivalent de la capacité actuelle de l'autorité organisatrice des transports publics à financer de nouveaux investissements au-delà de 2003.

## **5. CONCLUSION**

Nous avons donc montré qu'il était possible d'élaborer des systèmes techniques de péage permettant de traiter à la fois les objectifs de maintien de l'accessibilité à différentes échelles géographiques, et les trois contraintes de financement, d'environnement et d'équité. La mise en œuvre effective de ces systèmes à travers des scénarios de tarification permet d'apporter des éléments d'évaluation sur la conciliation possible entre ces divers objectifs, le plus souvent difficilement compatibles.

Il faut toutefois se garder d'extrapoler les résultats quantitatifs en dehors de leur domaine de validité, domaine défini par le cadre limité de la simulation mise en œuvre, à savoir l'absence imposée de modification des origines et destinations des déplacements. Ces limitations sont, on l'a vu, justifiées par l'état limité de nos connaissances en matière d'interactions entre transport et urbanisation. On peut alors se poser la question, au moins sur le plan qualitatif, de savoir de quelle manière ces résultats seraient changés par la prise en compte de ces interactions. La réponse n'est malheureusement pas évidente, comme déjà évoqué, vu la multiplicité des effets potentiels jouant en sens contraires les uns des autres, dont on peut donner quelques exemples : l'augmentation des vitesses consécutive à la baisse du trafic dans la zone à péage a un effet contraire à celui de l'augmentation des coûts monétaires, le coût généralisé des déplacements automobiles pouvant donc stagner voire diminuer ; à moyen et long terme les citoyens peuvent changer plus facilement d'emploi et aller travailler en périphérie, ce qui peut avoir un effet supplémentaire sur la diminution du trafic à destination du centre et à l'intérieur de ce dernier ; mais inversement, si la ville «roule » mieux, les entreprises peuvent être incitées à y maintenir voir accroître les emplois. Il y a donc là autant de mécanismes dont l'effet combiné net peut être d'augmenter ou de diminuer les résultats affichés.

<i>Réseau routier</i>	<i>Scénarios</i>		<i>Véhicules-kilomètres</i>	<i>Durée déplacements</i>	<i>Environnement</i>	<i>Recettes</i>
inchangé	1 2	double cordon sur trafic externe	<b>amélioration</b> au centre (+) dégradation dans zone externe (—)	dégradation dans zone externe	dégradation (—)	pas d'effet voire négatif (—)
	3	double cordon sur trafic externe et trafic résidents	<b>amélioration</b> au centre (+) dégradation dans zone externe (—)			<b>positif</b> (+)
	4 5 6	double cordon sur trafic externe et péage zone trafic résidents	<b>amélioration</b> au centre (++) stable voir <b>amélioration</b> au niveau de l'agglomération (+)	<b>amélioration</b> (+) (sauf zone externe)	<b>légère amélioration</b> (=)	<b>positif</b> (++)
avec contournement ouest	11 12	double cordon sur trafic externe	mêmes effets que les scénarios 1,2 et 3	mêmes effets que les scénarios 1,2 et 3	mêmes effets que les scénarios 1,2 et 3	mêmes effets que les scénarios 1,2 et 3
	13	double cordon sur trafic externe et trafic résidents				
avec contournement ouest et restriction sur itinéraire radial	20	sans péage	peu d'effet sur trafic au centre	dégradation (—)	dégradation (—)	
	21 22	double cordon sur trafic externe	<b>amélioration</b> au centre (+) dégradation dans zone externe (—)	dégradation (—)	dégradation (—)	pas d'effet
	25 26	double cordon sur trafic externe et péage zone trafic résidents	<b>amélioration</b> au centre (++) <b>amélioration</b> au niveau de l'agglomération (+)	dégradation (—)	dégradation (—)	<b>positif</b> (++)
	27	double cordon sur trafic externe et péage zone trafic résidents	<b>amélioration</b> au centre (+++) <b>amélioration</b> au niveau de l'agglomération (++)	pas d'effet	<b>légère amélioration</b> (=)	<b>très positif</b> (+++)

**Tableau 2 : Résumé comparatif des différents scénarios**

Les éléments de diagnostic des différents scénarios appliqués au cas de l'agglomération lyonnaise sont rassemblés dans le Tableau 2. Sous réserves de ces limites, c'est-à-dire *dans le cadre de la réalisation d'une demande donnée de déplacements (origines, destinations et heures de départ données)* nous pouvons en tirer les enseignements suivants :

- Un péage de cordon appliqué uniquement au trafic d'origine externe à l'agglomération (transit et échange) a tendance à diminuer les véhicules-kilomètres parcourus dans la zone centrale mais à les augmenter dans la zone extérieure. Il en résulte une aggravation des émissions polluantes. La faible part du trafic concerné fait que les recettes nettes sont très limitées voire négatives. L'application du péage de cordon également au trafic des résidents accentue ces effets tout en doublant les recettes.
- L'ajout d'un péage de zone sur le trafic des résidents, au péage de cordon sur le trafic externe, permet de stabiliser voire abaisser les véhicules-kilomètres parcourus ainsi que les émissions polluantes à l'échelle de l'agglomération. En outre, il permet de dégager des recettes importantes.
- L'ajout d'une capacité supplémentaire de contournement n'a par elle-même que peu d'effet de détournement de trafic de l'intérieur de l'agglomération. La conjonction avec une restriction de capacité de voirie dans le centre permet d'écarter une faible part du trafic du centre, mais augmente à la fois la congestion et les émissions polluantes. Dans ce contexte, l'ajout d'un péage de cordon appliqué au seul trafic externe à l'agglomération vient renforcer l'augmentation de la congestion et des émissions polluantes, malgré l'effet positif de diminution du trafic dans le centre.
- D'une manière générale, l'amélioration simultanée des critères de véhicules-kilomètres parcourus, d'environnement et de financement, nécessite au minimum la mise en place d'un péage de zone réduisant l'usage de la voiture particulière par les automobilistes résidents dans l'agglomération.
- Enfin, les diminutions de trafic observées dans les scénarios maxima peuvent sembler assez faibles (-3% de véhicules-kilomètres en moins dans le scénario 27, mais -12% dans le centre) : ces résultats reflètent en partie les contraintes posées dans l'exercice sur les origines-destinations des déplacements. On ne peut que supposer raisonnablement que la pérennisation d'un tel péage réduirait la pression à l'accroissement des capacités routières, permettant aux autorités locales de regagner de l'espace sur l'automobile, et dégagerait de nouvelles ressources pour financer les alternatives (cf. infra).

On notera in fine que la maîtrise des émissions polluantes semble difficile par le biais des seuls péages. L'évolution prévisible du parc automobile devrait permettre de réduire certaines de ces émissions sauf les poussières émises par le diesel, et surtout le CO<sub>2</sub>. La gestion par les péages urbains doit donc être accompagnée par les politiques visant les émissions unitaires des véhicules.

Enfin, les ressources financières dégagées dans certains scénarios, essentiellement ceux appliquant un péage de zone au trafic des résidents, pourraient être affectées d'une part au financement de l'offre alternative en transports collectifs - nécessaire pour recevoir la nouvelle clientèle des ex-automobilistes -, d'autre part au financement des rocades de contournement. Ce type d'affectation, aux transports et répartis entre les modes, est susceptible d'accroître l'acceptabilité de tels scénarios de péage.

Pour compléter les diagnostics, notamment en matière d'équité redistributive, le calcul des surplus des différentes classes d'utilisateurs ne pose pas de difficulté méthodologique majeure, à l'instar de ce qui a été fait dans une autre étude de cas (Raux et Souche, 2001b). Par contre, il

reste à élaborer une procédure d'introduction politique de tels scénarios et les mécanismes compensatoires associés. Enfin, deux questions particulièrement stimulantes sont posées à la recherche : l'impact de tels péages sur la contraction ou la dilatation de l'espace urbain, et la construction d'outils de simulation de la dynamique du système transport-urbanisation au cours du temps.

## Remerciements :

Le modèle stratégique de déplacements de l'agglomération lyonnaise a été développé en 1997 avec l'appui financier de la Direction de la Recherche du Ministère des Transports (DRAST), de la Communauté Urbaine de Lyon, du Sytral et du Conseil Général du Rhône. Le projet européen Eurotoll (1996-1999) a été financé par la DG VII de la Commission Européenne. Nous remercions également deux référés anonymes dont les critiques et remarques ont permis d'améliorer cet article.

## REFERENCES

- Dupuit, J., 1844. *De la mesure de l'utilité des travaux publics. Annales des Ponts et Chaussées*, 2ème série, Mémoires et Documents, n° 116, t.VIII, 1844, pp. 332-375.
- Dupuit, J., 1849. *De l'influence des péages sur l'utilité des voies de communication. Annales des Ponts et Chaussées*, 2ème série, 1849, pp. 170-248.
- EC (Commission Européenne) 2001. *La politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix*. Livre Blanc. Bruxelles, Septembre 2001, 121 p.
- EC (European Commission) 1998. *Fair Payment for Infrastructure Use: A phased approach to a common transport infrastructure charging framework in the EU*, White Paper, European Commission, DG VII, 22 July 1998.
- EC (European Commission), 1995. *Towards fair and Efficient Pricing in Transport*. Green Paper, Brussels, December 1995, 58 p. + annexes.
- Eurotoll, 1996. *Concept of Essential Road Users and Characteristics*. Report for the Commission of the European Communities DGVII, Eurotoll Project. September 1996, 47p.
- Goodwin, P.B., 1989. *The Rule of Three : a possible solution to the political problem of competing objectives for road pricing*. TSU Working Paper, Oxford.
- Hau, T.D., 1992. *Economic fundamentals of road pricing : a diagrammatic analysis*. The World Bank, Policy Research Working Paper Series, n°1070, 96p., December 1992
- Knight F., 1924. Some fallacies in the interpretation of social cost, *Quarterly Journal of Economics*, vol 38.
- Lichère (V.), 1997a. *Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements. Guide de l'utilisateur*, SEMALY, LET, février 1997, 33 p.
- Lichère (V.), 1997b. *Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements. Présentation générale*, SEMALY, LET, février 1997.
- Lipsey R.G., Lancaster K.J., 1956. The general theory of second best, *Review of Economics Studies*, pp.11-32, 24.
- OECD/ECMT, 1995. *Urban Travel and Sustainable Development*. OECD, Paris, 238 p.
- OECD (2000) *Environmentally Sustainable Transport. Futures, Strategies and Best Practices. Synthesis report*. October 2000; Paris, OECD, 72 p.
- Pigou A.C., 1920. *The Economics of Welfare*, MacMillan, Londres.

Quinet E., 1998. *Principes d'économie des transports*, Economica, Paris, 419 p.

Raux (C.), 1998. *Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements. Tests de sensibilité, erreurs et incertitudes liées à la prévision*, LET, SEMALY, janvier 1998, 64 p.

Raux (C.), Andan (O.), 1999. Road use conflicts: tolling strategies to preserve accessibility. In H. Meersman, E. Van de Voorde, W. Winkelmans (eds), *World Transport Research, Selected Proceedings from the 8th World Conference on Transport Research, Volume 2: Planning, Operation, Management and Control*. Antwerp, Belgium, 12-17 July 1998. Elsevier Science, 1999.

Raux (C.), Masson (S.), Godinot (C.), 1997. *Développement d'un modèle stratégique de simulation des déplacements. Vingt ans de rétrospective à travers les enquêtes-déplacements de l'agglomération lyonnaise (1976-1986-1995)*, LET, SEMALY, février 1997, 181 p.

Raux (C.), Souche (S.), 2001a. L'acceptabilité des changements tarifaires dans le secteur des transports : comment concilier efficacité et équité ? *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, vol 4, pp. 539-558.

Raux (C.), Souche (S.), 2001b. Comment concilier efficacité et équité dans la politique tarifaire des transports ? Le cas de TEO à Lyon. *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n° 40, pp. 27-52.

Rennes, G., Orfeuil, J.-P. (1997) Les pratiques de stationnement au domicile, au travail et dans la journée. *Recherche, Transports et Sécurité*, n°57, pp. 21-35

Small K.A., 1992a. *Urban Transportation Economics*, Harwood Academic Publishers, Luxembourg, 181 p.

Small, K.A., 1992b. *Using the revenues from congestion pricing*. *Transportation* 19, pp.359-381.

SYTRAL, 2000. *Bilan et perspectives 1999*. Sytral, Lyon, juillet 2000.

Vickrey W., 1963. Pricing in urban and suburban transport, *American Economic Review: Papers and Proceedings*, 53 (2), p.452-465, May.

Walters A.A., 1961. The theory and measurement of private and social cost of highway congestion, *Econometrica*, vol 29, n° 4.